

**ЛАЗЕРНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ**Ли Линь, Мостовщиков А.В., Блошкина А.И.

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Ф.А. Губарев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

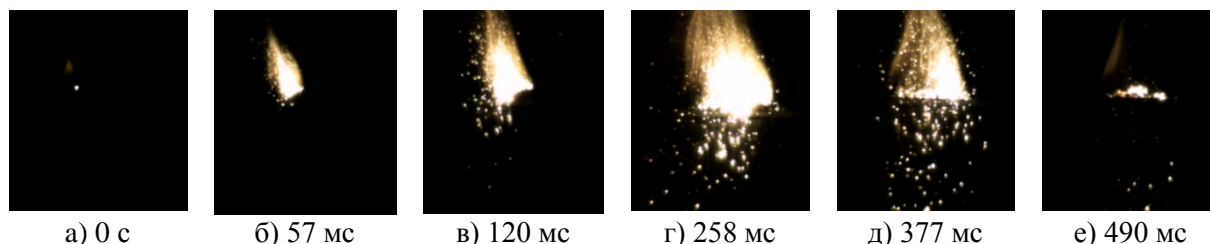
E-mail: wojiaolilin@mail.ru

В настоящее время большой интерес ученых сосредоточен на производстве наноматериалов. Часто эти технологии производства основаны на взаимодействии мощных потоков энергии с веществами или на процессах горения [1–7]. Особый интерес представляет всестороннее изучение процессов горения нанопорошков. Одни из таких процессов является горение термитной смеси $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$. Высокая температура сгорания $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ и высокая скорость реакции являются проблемами, которые усложняют изучение процессов, происходящих в процессе горения. Поэтому необходимо разработать новые методы исследования и технологии для визуального контроля таких процессов.

В последнее время были разработаны лазерные мониторы для систем визуальной диагностики, что расширило их практическое применение [5–7]. Представленные в ранней работе [6] результаты показали, что наблюдение процессов образования микроструктур с помощью лазерного монитора вполне реально. В данной работе показано, что используя лазерный монитор, можно наблюдать такие фазы формирования структуры, как окисление оксида алюминия, замещение кислорода азотом и охлаждение непосредственно во время горения. Изучался процесс горения смеси, состоящей из $2/3$ нанопорошка алюминия и $1/3$ нанопорошка оксида железа. Использовался нанопорошок Fe_2O_3 , полученный нагревом нанопорошка Fe при температуре 550°C в воздухе, создаваемом электрическим взрывом железной проволоки в аргоне. Вес образца выбирался более 3 г , чтобы обеспечить продолжительность горения, достаточную для визуальной диагностики.

В качестве усилителя яркости применялся активный элемент лазера на парах бромида меди. Согласно экспериментальным данным, полученным ранее с усилителем яркости на парах бромида меди [7], параметры работы трубки выбирались близкими к оптимальным. Трубка генерировала 20 мкДж импульсное усиленное спонтанное излучение на длинах волн $510,6$ и $578,2\text{ нм}$ и работала с частотой повторения импульсов 20 кГц .

На рис. 1 показаны изображения скоростной записи процесса горения в собственном свете. Для предотвращения насыщения камеры использовались нейтральные светофильтры. На кадрах высокоскоростной записи можно наблюдать процесс зажигания, распространение горения и охлаждение. Горение смеси $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ происходит значительно быстрее, чем горение нанопорошка алюминия в воздухе, наблюдаемого в работе [7]. В отличие от горения nanAl , при горении $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ в воздухе невозможно отличить две стадии высокотемпературного горения, наблюдаемые в собственном свете. Мы также видим, что сгорание нанопорошков $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ сопровождается быстрым вылетом продуктов. Из-за яркого фонового освещения оценить временные характеристики процессов с использованием изображений в собственном свете очень сложно.



а) 0 с

б) 57 мс

в) 120 мс

г) 258 мс

д) 377 мс

е) 490 мс

Рис. 1. Кадры высокоскоростных изображений горения нанопорошков $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$ в собственном свете в разные моменты времени, относительно момента зажигания (а).

На рис. 2 показаны кадры высокоскоростной записи, полученные с помощью лазерного монитора. На рисунках ясно видно образование маленьких шариков. Может быть интересно, что волна нагрева не приводит к заметному изменению структуры поверхности образца или изменению коэффициента отражения, волна может быть обнаружена только в динамике. Волна горения появляется за 40-100 мс до начала сгорания в том же месте образца. Скорость волны нагрева варьируется от 17,4 до 36,1 мм/с. Используя результаты высокоскоростной съемки с помощью лазерного монитора, можно оценить скорость распространения волн горения. Для этих экспериментов она варьируется от 35,2 до 85,6 мм/с.

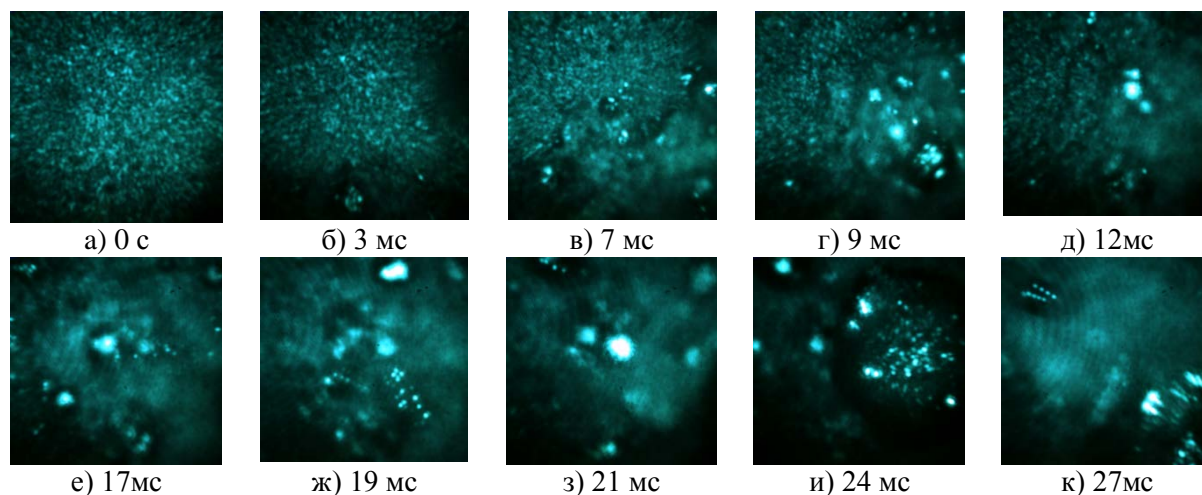


Рис.2. Кадры высокоскоростной записи горения нанопорошков $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$, полученные с помощью лазерного монитора в разные моменты времени. Рисунок (а) - момент перед модификацией поверхности.

Использование лазерного монитора, убедительно доказывает возможности и перспективности визуализации сгорания термитных смесей с помощью лазерного монитора, и позволяет наблюдать распространение волны горения, и распространение волны нагрева. Используя лазерный монитор, можно изучить временные параметры процесса горения. В частности, размер шариков, их формирование и отлет можно подробно изучить в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kharatyan S.L., Merzhanov A.G. Coupled SHS Reactions as a useful tool for synthesis of materials: An overview // *Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth.* – 2012. – Т. 21. – № 1. – С. 59–73.
2. И'ин А.П., Mostovshchikov A.V., Root L.O. Growth of aluminum nitride single crystals under thermal explosion conditions // *Tech. Phys. Lett.* – 2011. – Т. 37. – № 10. – С. 965–966.
3. Илын А.П., Root L.O., Mostovshchikov A.V. The influence of aluminium nanopowder density on the structure and properties of its combustion products in air // *Key Eng. Mater.* – 2016. – Т. 685. – С. 521–524.
4. Buzhinsky R.O., Savransky V.V., Zemskov K.I., Isaev A.A., Buzhinsky O.I. Observation of objects under intense plasma background illumination // *Plasma Phys. Rep.* – 2010. – Т. 36. – № 13. – С. 1269–1271.
5. Gubarev F.A., Evtushenko G.S., Trigub M.V., Shiyanov D.V., Torgaev S.N. High-speed process visualization using metal vapor brightness amplifiers // *11 European Conference on Non-Destructive Testing.* – Prague, 2014. – № 41. – С. 1–8.
6. Gubarev F.A., Mostovshchikov A.V., Klenovskii M.S., И'ин А.П., Li Lin. Copper bromide laser monitor for combustion processes visualization // *Progress in Electromagnetic Research Symposium, PIERS.* – Shanghai, 2016. – № 7735091. – С. 2666–2670.
7. Gubarev F.A., Li L., Klenovskii M.S., Shiyanov D.V. Spatial-temporal gain distribution of a CuBr vapor brightness amplifier // *Appl. Phys. B: Laser and Optics.* – 2016. – Т. 122. – № 284. – С. 1–7.